

A Summary of Forecast Theory and Method of Deep Mineral Exploration

Wenhuan Shen¹, Yuji Wang², Lina Zhao¹, Mingzhang Peng¹

¹Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Jinan

²Geology Resources of Shandong Province School, Jinan

Email: 316608530@qq.com

Received: Apr. 6th, 2014; revised: May 1st, 2014; accepted: May 8th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the development of prospecting work, deep mineral exploration has become the main direction of prospecting in China, which has also presented a great prospecting potential. Based on the review of the existing forecast theories and methods of mineralization, this paper assessed geotectonic background of exploration area, metallogenetic geological conditions and regularity, implemented reasonable geophysical-geochemical method and technology, comprehensively analysed the prospect of deep mineral exploration, at the same time, strengthened and improved the deep drilling work, in order to extremely increase the prospecting probability and reduce the exploration risk.

Keywords

Deep Mineral Exploration, Metallogenic Theory, Geophysical-Geochemical Exploration, Depth Portion Drilling

深部找矿预测理论及方法综述

申文环¹, 王玉吉², 赵丽娜¹, 彭明章¹

¹中化地质矿山总局山东地质勘查院, 济南

²山东省地矿技工学校, 济南

Email: 316608530@qq.com

收稿日期: 2014年4月6日; 修回日期: 2014年5月1日; 录用日期: 2014年5月8日

摘要

随着找矿工作的进行，深部找矿已成为我国今后找矿的主攻方向，且深部具有很大的找矿潜力。针对深部找矿，通过认真分析勘查区大地构造背景、成矿地质条件和成矿规律，以已有的成矿预测理论为基础，合理选用物化探方法和技术，综合分析深部成矿前景，同时加强和改进深部钻探工作，从而最大程度增加找矿机率，降低勘查风险。

关键词

深部找矿，成矿理论，物化探，深部钻探

1. 引言

经过多年的地质勘查工作，我国中东部近地表找矿工作难度加大，同时随着全国危机矿山接替资源找矿专项工作的实施，开展深部找矿工作势在必行。

据我国深部找矿的最新进展[1] [2]，很多矿床还有很大的深部找矿潜力，在深部 500~2000 m 深度范围[3] [4]，即第二找矿空间，可能还有很大的找矿前景。因此，深部矿产找矿已成为我国今后找矿的主攻方向，如何合理选用一些深部找矿预测理论和方法，已成为广大地质工作者较为关注的问题。而我国针对成矿理论和方法已有大量的研究[5]-[9]，且是当今找矿领域的热点和难点。

本文在分析现有的多种成矿理论基础上，简要叙述了深部找矿中主要的物探和化探方法，并说明了深部钻探应注意的问题，从而最大程度增加找矿机率，降低勘查风险，为我国找矿突破战略行动做出贡献。

2. 深部找矿研究及其特点

深部找矿主要研究和讨论的问题有：1) 矿床形成深度与产出深度[10]，认为目前产出于深部的矿床并不一定形成于深部。2) 第二富集带[11]，认为已有矿床的深部存在第二富集带。

深部找矿有区别于浅部找矿的显著特点，如深部矿埋藏深、矿化信息弱、找矿难度大等，在成矿理论、物化探方法及钻探技术方面均遇到了难题，表现在：1) 深部矿产出环境更为复杂，传统的地质思维难以准确预测深部成矿模式，有很大的不确定性。2) 物探方面，深部物探异常的定性解释具有多解性，难度大。3) 化探方面，针对深部产出的矿床，常规的化探方法没有效果。4) 对钻探的要求高。随着我国深部找矿的持续开展，深部找矿钻探深度可达到 1500 m，甚至是 2000~3000 m，因此深部找矿除了固有的地质风险以外，深部钻探技术也会遇到更大的挑战。

3. 主要成矿理论及深部找矿方法和技术

3.1. 主要成矿理论和方法

深部找矿有其特殊性，成矿理论可通过大量的深部找矿实践逐步完善。现有的成矿理论可通过与物化探方法结合起来指导深部找矿，而深部找矿实践反过来又可以修正成矿理论，从而不断促进成矿理论的发展和完善。

现有成矿理论主要有：

- 1) “矿床成矿系列与预测”由程裕洪、陈毓川等[12]提出，认为矿床在自然界时空域内是有规律存

在与分布的,与一定时段、一定地质环境、一定成矿作用有关形成的一组有成因联系的矿床自然组合,也就是一个矿床成矿系列。该理论初步厘定了全国矿床成矿系列,完善了成矿系列序列(共划分5个序次);提出成矿系列是一种矿床的自然分类,共划分出214个矿床成矿系列;在应用方面,已在多个个靶区取得较好的验证结果。

2) 成矿系统理论[13]认为成矿系统是在一定的时空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程,以及所形成的矿床系列、异常系列构成的整体,是具有成矿功能的一个自然系统。不同的成矿系统形成在不同的构造环境和地壳的不同深度,不同成矿系统的发育深度见图1[10]。

3) “三联式-成矿预测理论”,由赵鹏大[5][6]提出,该理论以地质异常分析为基础,以成矿多样性分析与矿床谱系研究为指导,把研究区的地质异常、成矿多样性和矿产谱系三个相互联系、互为因果的地质因素进行数字化、量化,并建立数字找矿模型,把这三个因素的联合分析研究形成的数字找矿模型作为成矿预测和找矿的切入点,从而提高成矿预测和找矿的成功率和效果。

4) “三位一体”找矿预测由叶天竺提出,该方法从多个实例剖析,理论联系实践,系统总结了深部找矿的理论方法体系,提出了“三位一体”深部找矿预测方法,即通过研究成矿地质作用确定成矿地质体,研究成矿构造分析矿体空间分布特征,研究成矿流体确定找矿方向的地质预测方法。其中成矿地质体,成矿构造及成矿结构面、成矿作用特征标志,三者缺一不可。以斑岩铜矿为例,中酸性岩浆侵入体为成矿地质体,成矿构造及成矿结构面是侵入体顶部内外接触带叠加区域构造带,成矿作用特征标志是发育内带、中带、外带等蚀变分带(见图2),内带普遍以钾硅化带为主,中带及外带与岩体及围岩成分相关,如围岩为中性或中基性岩,则中带为绿泥石、绢云母硅化带,外带为泥化带和青盘岩化带。

此外,在前人的找矿工作中还总结出了大量的找矿模式,如五层楼钨矿、焦家式金矿、玲珑式金矿、斑岩铁矿等模式,都是前人的找矿经验总结,对于找矿有重要的指导意义。

3.2. 深部找矿物探方法

针对不同的矿床类型要合理选用物探方法及其技术参数。常见的物探方法有:激电测深、瞬变电磁法(TEM)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)、井中物探等;而深部矿勘查中主要应用可控源音频大地电磁法(CSAMT)和井中物探,且这些物探方法在深部矿勘查中取得了较好的效果。

1) 可控源音频大地电磁法(CSAMT):探测深度可达1~2 km,兼有剖面 and 测深双重性质。使用可控的人工场源,一次发射可同时完成7个点的电磁测深,提高了工作效率,增强了抗干扰能力,受地形

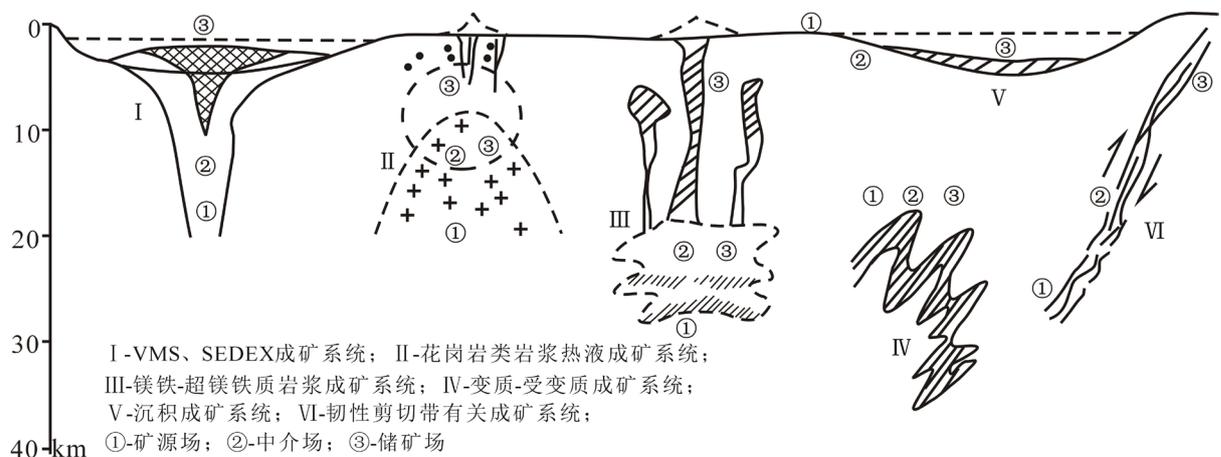


Figure 1. Depths of the occurrence of the major metallogenic system (after Zhai Yusheng, 2004)

图1. 主要成矿系统发育深度概图(据翟裕生等, 2004)

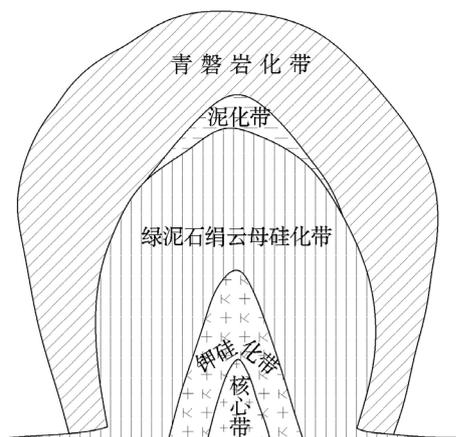


Figure 2. The alteration zoning model schematic diagram of porphyry copper deposit
图 2. 斑岩铜矿蚀变分带模式示意图

影响较小。该方法可以解决深层的地质问题，在寻找隐伏金属矿方面取得了良好的地质效果。

2) 井中物探：地下物探方法利用现有的钻孔或坑道，对钻孔底部或外围进行进一步的勘查很有优势，更适用于深部找矿[14]。井中物探主要用来解决井周及井底地质问题，确定盲矿的空间位置、形状、产状，追索矿体延伸。

3.3. 深部找矿化探方法

目前较为有效的勘查地球化学新技术新方法主要有深穿透地球化学理论和原生晕叠加理论及构造叠加晕方法。

1) 深穿透地球化学理论

深穿透地球化学理论是研究能探测深部隐伏矿体发出的极微弱直接信息的勘查地球化学理论与方法技术[15]。深穿透地球化学方法主要包括地气法、元素有机态法、活动金属离子法及金属活动态法等[15][16]。深穿透地球化学方法的特点是：1) 探测深度大，可达数百米；2) 所测量的主要是直接来自深部矿体的直接信息；3) 这种信息极为微弱，往往在亿分之几至百万分之几；4) 但这种微弱信息反而更可靠，因为常规化探中起干扰作用的物质发不出这种信息[16]。常规地球化学方法主要针对出露区和半出露区找矿，而深穿透地球化学方法针对隐伏区找矿效果较好。

2) 原生晕叠加理论和构造叠加晕找盲矿法由李惠提出。

原生晕叠加理论认为热液成矿形成的矿体及其原生晕具有明显的轴(垂)向分带，即每次成矿形成的矿体(晕)都有明显的前缘晕、近矿晕和尾晕。其中金矿盲矿预测的原生晕元素组合如下：1) 金矿最佳指示元素组合：Au、Ag、Cu、Zn、Hg、As、Sb、B、Bi、Mo、Mn、Co。2) 单一次成矿形成原生晕的前缘晕、近矿晕、尾晕。前缘晕特征指示元素组合是：Hg、As、Sb、(F、I、B、Ba)；近矿晕特征指示元素组合是：Au、Ag、Cu、Zn；尾晕特征指示元素组合：Mo、Bi、Mn、Co[17]。

构造叠加晕找盲矿法只研究构造蚀变带中原生叠加晕特征、提取构造中成矿信息，并用于盲矿预测。构造叠加晕找盲矿新方法在金矿的深部盲矿预测中已得到了应用[17]-[19]。该方法提高了找盲矿准确性，在矿山深部仅外围找矿取得了显著找矿效果，取得了巨大经济效益和社会效益。

3.4. 深部钻探应注意的问题

深部找矿离不开钻探，且钻探工作的成功与否直接关系着地质找矿的成败，钻探技术不可替代[20]。

因此,在先进的成矿理论及物化探新技术新方法基础上,也需要加强和改进深部钻探工作,特别是在钻探设备、器具和工艺方法等方面[21]。

首先是钻探设备方面,应加快第三代新型钻机——全岩液压动力头钻机的推广,加快坑道钻探设备的能力的提升。

其次是器具及工艺方法方面,应加快新型基础钻具的研制和新技术的完善。新型基础钻具如新型高寿命金刚石钻头、高强度深孔绳索取心钻杆、新型深孔双壁钻杆的研制;新技术如空气泡沫钻进等有待完善和推广。

最后,还需要有高素质的从业人员保障。

3.5. 深部找矿理论与方法的综合运用

在实际找矿工作中,如何灵活应用这些理论和方法技术,是深部找矿工作取得成效的关键。

深部找矿难度大,且深部成矿规律和成矿模式研究还不太成熟,必须在已有地质工作基础上,充分利用和分析已有的地质资料,针对不同的矿床类型,不同的地质构造背景和成矿地质条件,选择适用的地质成矿理论、找矿经验和有效的物化探方法技术,综合运用这些地质、物探和化探等理论和方法技术,综合分析深部成矿前景,提高深部找矿的成功率。

4. 总结

1) 深部找矿已成为我国中东部的主要找矿方向,且深部还有很大的找矿潜力,但深部找矿难度大,需要综合运用地质、物探和化探等理论和方法。

2) “矿床成矿系列与预测”、“成矿系统理论”等成矿理论和方法已在我国找矿实践中得到了良好的应用,为我国深部找矿打下了地质理论基础。

3) 在深部找矿中,物化探的重要性不言而喻。目前常用的物探方法如可控源音频大地电磁法(CSAMT)和井中物探,化探方法有深穿透地球化学理论、原生晕叠加理论和构造叠加晕找盲矿法等。这些物化探方法为深部找矿提供了强有力的支持,并取得了很好的找矿效果。

4) 钻探技术要迎合深部探矿的要求,在钻探设备、器具和工艺方法等方面加强和改进。

参考文献 (References)

- [1] 徐军祥 (2008) 山东省深部找矿进展与启示. *地质调查与研究*, **31**, 176-179.
- [2] 侯满堂, 齐文 (2007) 陕西深部找矿进展及找矿建议. *陕西地质*, **25**, 1-10.
- [3] 吕庆田 (2007) 我国东部深部找矿方向、找矿思路与勘查技术-以长江中下游成矿带为实例. *中国地球物理*.
- [4] 滕吉文 (2010) 强化第二深度空间金属矿产资源探查, 加速发展地球物理勘探新技术与仪器设备的研制及产业化. *地球物理学进展*, **25**, 729-748.
- [5] 赵鹏大, 池顺都, 陈永清 (1996) 查明地质异常: 成矿预测的基础. *高校地质学报*, **2**, 361-373.
- [6] 赵鹏大, 陈建平, 张寿庭 (2003) “三联式”成矿预测新进展. *地学前缘*, **10**, 455-463.
- [7] 王明志, 李闰华, 鄢云飞等 (2007) 若干成矿预测理论研究综述. *资源环境与工程*, **21**, 363-369.
- [8] 张德会, 周圣华, 万天丰等 (2007) 矿床形成深度与深部成矿预测. *地质通报*, **26**, 1509-1518.
- [9] 叶天竺, 薛建玲 (2007) 金属矿床深部找矿中的地质研究. *中国地质*, **34**, 855-869.
- [10] 翟裕生, 邓军, 王建平等 (2004) 深部找矿研究问题. *矿床地质*, **23**, 142-149.
- [11] 吕古贤 (1995) 山东省玲珑金矿田成矿深度的研究与测算. *科学通报*, **40**, 1399-1402.
- [12] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣 (1979) 初论矿床的成矿系列问题. *中国地质科学院院报*, **1**, 32-58.
- [13] 翟裕生 (1999) 论成矿系统. *地学前缘*, **6**, 13-27.

- [14] 周平, 陈胜礼, 朱丽丽 (2009) 几种金属矿地下物探方法评述. *地质通报*, **28**, 224-231.
- [15] 赵洪涛, 张庆华 (2010) 深穿透化探方法及在矿产勘查中的应用. *地质找矿论丛*, **25**, 196-211.
- [16] 谢学锦, 王学求 (2003) 深穿透地球化学新进展. *地学前缘*, **10**, 225-238.
- [17] 李惠, 张国义, 禹斌等 (2010) 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果. *地学前缘*, **17**, 287-293.
- [18] 李惠, 李德亮, 禹斌等 (2010) 构造叠加晕新方法在小秦岭金矿带深部盲矿预测的应用. *黄金科学技术*, **18**, 1-6.
- [19] 李惠, 禹斌, 李德亮等 (2012) 胶东石英脉—蚀变岩型金矿床深部盲矿预测的构造叠加晕模型. *黄金科学技术*, **20**, 1-6.
- [20] 孙丙伦 (2009) 深部找矿组合钻探技术研究. 吉林大学, 吉林.
- [21] 郑建国 (2009) 钻探技术如何适应深部找矿的要求. *工程与建设*, **23**, 809-811.